

51

Int. Cl.:

.G 05 b, 13/02

B16

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

02P04668

DEUTSCHES PATENTAMT



52

Deutsche Kl.: 42 r1, 13/02

10

11

21

22

43

Offenlegungsschrift 1 588 341

Aktenzeichen: P 15 88 341.7 (I 34053)

Anmeldetag: 4. Juli 1967

Offenlegungstag: 9. April 1970

Ausstellungspriorität: —

30

Unionspriorität

32

Datum: 5. Juli 1966

33

Land: V. St. v. Amerika

31

Aktenzeichen: 562750

54

Bezeichnung: Regelkreis

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: International Business Machines Corp., Armonk, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter: Brügel, Dipl.-Ing. Gerhard, Patentanwalt, 7030 Böblingen

72

Als Erfinder benannt: Clarridge, Ralph Ernest, Huntsville, Ala (V. St. A.)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): 24. 3. 1969

BEST AVAILABLE COPY

ORIGINAL INSPECTED

3. 70 009 815/936

8/80

Böblingen, 3. Juli 1967
bg-sch

Anmelderin:

International Business Machines
Corporation, Armonk, N.Y. 10504

Amtl. Aktenzeichen:

Neuanmeldung

Aktenz. der Anmelderin:

Docket 18 268

Regelkreis

Die Erfindung betrifft einen Regelkreis mit einem Verstärker.

Die feste Verstärkungseinstellung von Regelkreisen stellt einen Kompromiß zwischen der Stabilität des Prozesses und dem schnellen Ansprechen auf Änderungen in dem zu regelnden Prozeß dar. Eine Abweichung der geregelten Größe vom Sollwert erzeugt ein Fehlersignal. Wenn die Verstärkung der Regelanordnung auf einen hohen Wert eingestellt wird, wird ein kleiner Fehler eine große Korrektur in Richtung auf den Sollwert bewirken. Wenn die Verstärkung zu hoch eingestellt wird, kann die Korrektur zu groß werden und die Regelgröße könnte über den Sollwert hinaus verändert werden und den Prozeß zum Schwingen bringen.

Macht man andererseits die Regelverstärkung klein, dann wird die Regelung träge und unwirksam. Außerdem wird die zu regelnde Größe

009815/0936

unter verschiedenen Belastungen dem Sollwert nicht nahe genug kommen. Deshalb wird normalerweise die Verstärkung der Regelanordnung auf einen Kompromißwert eingestellt, bei welchem die Regelung einigermaßen schnell auf Belastungsänderungen anspricht. Aber auch diese Einstellung ist bei vielen Anwendungen nicht zufriedenstellend, da die Verstärkung einen bestimmten Wert bei dem der Regelkreis im ganzen Bereich gerade noch stabil ist, nicht überschreiten darf.

Diese Probleme könnten beseitigt werden, wenn die Bedienungsperson die Verstärkung der Regelanordnung jedesmal neu einstellt, wenn sich der Prozeß ändert. Im allgemeinen hat jedoch die Bedienungsperson nicht so viel Zeit, um solche Neueinstellungen vorzunehmen. Es muß deshalb ein Kompromiß in der Einstellung der Verstärkung hingenommen werden.

Viele Prozesse und damit die von Abtastern aufgenommenen Signale der zu steuernden Größen sind nicht linear. Darüberhinaus sind häufig die Stellglieder, die die Zuführung von Mitteln, wie z. B., Dampf oder Wasser bewirken, oft nicht linear. Deshalb ist die Verstärkungseinstellung, die für eine Bedingung ausreichend ist, für eine andere oft nicht genügend. Eine Lösung besteht darin, die Verstärkungsregelung von der Einstellung eines Ventiles oder eines anderen geregelten Teiles und damit von der Belastung abhängig zu machen. Wenn die Einstellung eines Ventiles einen Punkt erreicht, bei welchem der Prozeß instabil wird, kann die Verstärkung des Regelkreises z. B. mittels eines Nockens verringert werden. Der offen-

009815/0936

sichtliche Nachteil dieser Anordnung ist es, daß für jeden Regelkreis die Bemessung anders sein muß.

Eine große Zahl von zu regelnden Vorgängen erfordern die Verwendung einer Regelanordnung, die in zwei Betriebsweisen, nämlich proportional und integral arbeiten kann. In einer solchen Regelanordnung ist die Steuergröße einmal proportional dem Fehlersignal und ein anderes Mal proportional dem Zeitintegral des Fehlersignales. In solchen Regelanordnungen wird der Integralbetrieb verwendet, um die Gesamtverstärkung der Regelanordnung für sehr niederfrequente Änderungen zu erhöhen. Das Integral wird im allgemeinen mittels einer Integrationsschaltung gebildet, die aus einer hohen Impedanz und einem Kondensator besteht. Es ist bekannt, daß Schaltungen mit hoher Impedanz sehr empfindlich auf Umgebungseinflüsse reagieren. Ein weiterer Nachteil dieser Anordnung sind die hohen Kosten für den Kondensator.

Zweck der Erfindung ist es, einen Regelkreis zu schaffen, der sich den verschiedensten Bedingungen optimal anpaßt.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor des Verstärkers derart geregelt wird, daß er bei niedrigen Frequenzen der Regelgröße groß ist und bei den hohen Frequenzen der Regelgröße gegen null geht.

Nachstehend soll die Erfindung an Hand der in den Zeichnungen dar-

009815/0936

BAD ORIGINAL

gestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Regelkreises,
 Fig. 2 einen Teil einer anderen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Regelkreises,
 Fig. 3 eine Weiterbildung der Ausführungsform gemäß Fig. 2 und
 Fig. 4 den Verstärkungsfaktor in Abhängigkeit von der geregelten Größe.

In dem Regelkreis gemäß der Erfindung wird der Verstärkungsfaktor kontinuierlich so geregelt, daß der Regelkreis wie ein Zweikanal-Regelkreis mit Proportional- und Integralverhalten wirkt. Die Regelung des Verstärkungsfaktors folgt der Gleichung

$$G = K \left(1 + R \left| \frac{(x - x_c)}{\frac{dx}{dt}} \right| \right)$$

in der

- G der Verstärkungsfaktor der Regelanordnung,
 K die Einstellung der minimalen Verstärkung,
 R die Rückstellrate (Wiederholungen pro Minute),
 x die Regelgröße,

BAD ORIGINAL

009815/0936

x_0 der Sollwert,
 dx/dt die Änderung der Regelgröße und
 $(x-x_0)$ die Fehlergröße ist.

Aus dieser Gleichung erkennt man, daß sich der Verstärkungsfaktor G der Regelanordnung mit der Größe der Fehlergröße und umgekehrt mit der Änderung der Regelgröße ändert.

Es wurde erwähnt, daß die Integralregelung als eine Erhöhung des Verstärkungsfaktors nur bei sehr niedrigen Frequenzen angesehen werden kann, wodurch die Instabilität vermieden werden kann.

In den bekannten Zweikanalregelanordnungen ist der Integralkanal bei einer hohen Verstärkung wirksam, wenn die Signale sich sehr langsam ändern. Dieser Kanal liefert aber keine Verstärkung bei sich schnell ändernden Signalen. Gemäß der Erfindung ist die Gesamtverstärkung der Regelanordnung bei Gleichstrom oder Niederfrequenz relativ hoch und sie fällt auf einen niedrigen Wert, wenn die Änderung der geregelten Größe zunimmt.

Die Regelanordnung gemäß der Erfindung spricht ähnlich an, wie die Proportionalregelung mit Rückstellung bei allen Frequenzen. Anstatt jedoch bei niedrigen Frequenzen mittels eines Integralkanales eine hohe Verstärkung zu haben, wird diese Charakteristik dadurch erhalten, daß die Verstärkung bei hohen Frequenzen verringert wird. Es wird eine hohe proportionale Verstärkung eingestellt, die das gewünschte Ansprechen bei niedrigen Frequenzen liefert.

009815/0936

BAD ORIGINAL

Damit paßt sich der Regelkreis den verschiedenen Belastungen eines Prozesses an, aber würde normalerweise zu Instabilitäten führen. Dieses Problem wird gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch beseitigt, daß untersucht wird, ob in der Regelgröße Frequenzen vorhanden sind, bei denen Instabilitäten auftreten würden. Wenn diese Frequenzen in der Regelgröße vorhanden sind, wird die Verstärkung der Regelanordnung vermindert. Im allgemeinen ist die Verstärkung, bei der der Regelkreis stabil gehalten wird, umso niedriger, je höher die Frequenz der Regelgröße ist.

Die Regelung der erfindungsgemäßen Regelanordnung ist sehr ähnlich der einer Regelanordnung mit Proportional- und Integralregelung. Obwohl hier kein Integralkanal vorhanden ist, der bei hohen Frequenzen wirksam wird.

Ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Regelanordnung ist in Fig. 1 dargestellt. Ein Meßgerät 1, z. B. ein Thermoelement erzeugt ein Signal, das proportional dem Wert der Regelgröße ist. Die Signale werden dem Eingang 3 eines Senders 2 vom Meßgerät 1 zugeführt. Der Wert der Regelgröße wird z. B. durch ein Ausgangssignal von 4 bis 20 mA am Ausgang 4 dargestellt.

Ein Sollwertgeber 5 mit einer Ausgangsklemme 6 gibt 4 bis 20 mA ab, die den gewünschten Wert für die Regelgröße darstellen.

Das Signal, das der Regelgröße entspricht, wird einem ersten

009815/0936

BAD ORIGINAL

Lingang 7 und der Sollwert einem Eingang 8 einer Summierschaltung 9 zugeführt. Am Ausgang 10 der Summierschaltung 9 erscheint ein Signal, das proportional der Abweichung der Regelgröße vom Sollwert ist. Diese Abweichung, das Fehlersignal, wird dem Eingang 11 eines Verstärkers 12 zugeführt. Der Ausgang 13 des Verstärkers 12 ist über eine Leitung 14 mit einem Stellglied, z. B. einem Ventil im zu steuernden Prozeß verbunden.

Der Verstärkungsfaktor des Verstärkers 12 wird durch Einstellung des Rückkopplungswiderstandes 15 eingestellt. Durch Vergrößerung des eingeschalteten Wertes des Widerstandes 15 erhöht sich der Verstärkungsfaktor des Verstärkers 12 und eine Verkleinerung des Wertes des Widerstandes 15 vermindert den Verstärkungsfaktor. Ein Stellglied 16 stellt den Wert des Rückkopplungswiderstandes 15 proportional zu dem Signal ein, das seinem Eingang 17 zugeführt wird. Dieses Signal ist proportional dem Ausdruck G in der oben beschriebenen Gleichung.

Wenn ein schnelles Ansprechen nicht erforderlich ist, kann das Stellglied 16 und der Widerstand 15 ein durch einen Servomechanismus angetriebenes Potentiometer sein. Man könnte aber auch z. B. als Rückkopplungswiderstand 15 einen Strahlungsempfindlichen Widerstand z. B. einen Fotoleiter und als Stellglied 16 eine Strahlungsquelle, z. B. eine Lampe verwenden. In diesem Fall wäre es allerdings notwendig, das dem Eingang 17 zugeführte Signal zu invertieren.

BAD ORIGINAL

009815/0936

Die Erzeugung des Verstärkungsregelungssignals am Eingang 17 erfolgt mittels eines Signalvergleichers, z. B. eines Differentialverstärkers 18, der zwei Eingänge 19 und 20 aufweist.

Der erste Eingang 19 ist mit dem Ausgang 10 der Summierschaltung 9 verbunden. Der Verstärker 18 liefert ein Ausgangssignal an der Klemme 17, das sich direkt proportional dem Fehlersignal $(x-x_0)$ am ersten Eingang 19 ändert. Das Signal an der Klemme 17 ist abhängig von und ändert sich invers zu dem Signal am zweiten Eingang 20. Mit anderen Worten, der Verstärker 18 wirkt als Signalvergleicher und gibt ein Ausgangssignal an die Klemme 17 ab, das sich abhängig von der Differenz zwischen den Eingangssignalen an den Klemmen 19 und 20 ändert. Damit ein Verstärkungsregelungssignal der Beziehung $R \cdot \frac{(x-x_0)}{\frac{dx}{dt}}$ genügt, wird ein Signal, das die Größe dx/dt darstellt, dem zweiten Eingang 20 zugeführt.

Bei manchen zu steuernden Prozessen kann das Signal, das dx/dt darstellt, schon verfügbar sein, und es kann deshalb direkt der Klemme 20 zugeführt werden. In den meisten Fällen, ist die Größe dx/dt noch nicht verfügbar, sie muß deshalb erzeugt werden. Während es relativ schwierig ist, ein Signal zu erzeugen, das genau der Größe dx/dt entspricht und im allgemeinen eine sehr komplizierte Schaltung erforderlich macht, hat sich herausgestellt, daß mit einer einfachen Schaltung eine ausreichende Annäherung erzeugt werden kann.

009815/0936

Die Verwendung eines Hochpaßfilters 21 und eines Gleichrichter-Integrators 22 zwischen dem die Regelgröße darstellenden Signal an der Klemme 4 und den zweiten Eingang 20 liefert ein Steuersignal am Eingang 20 das die hochfrequenten Anteile des Signales der Regelgröße darstellt. Die Beziehung zwischen den gleichgerichteten und integrierten hochfrequenten Komponenten und der Änderung dx/dt der Regelgröße ist nicht genau, aber es hat sich gezeigt, daß die Verwendung der Näherung eine gute Regelung ergibt. Der Integrator 22 darf nicht mit dem Integrator, wie er in üblichen integrierenden Regelanordnungen verwendet wird, verwechselt werden. Der Integrator, wie er in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, hat eine kurze Zeitkonstante und läßt sich leicht aus billigen kleinen Teilen herstellen. Das Hochpaßfilter 21 und der Integrator 22 bestimmen den Energieinhalt des die gesteuerte Größe darstellenden Signals innerhalb des Durchlaßbereiches^{des} Filters. Da das sich schnell ändernde Signal der zu regelnden Größe in dem durch das Filter hindurchgelassenen Bereich eine wesentliche Energie aufweist, wird das Signal an der Eingangsklemme 20 groß sein. Die Zeitkonstante des Integrators 22 ist relativ kurz und dient nur dazu, ein geglättetes Signal an der Eingangsklemme 20 zu erzeugen. Der wirkliche Wert von dx/dt würde in diesem Fall ebenfalls groß sein.

Das Verstärkungssteuersignal muß noch durch die Größe R beeinflusst werden, die die Rückstellrate oder die Wiederholungen pro Minute

009815/0936

darstellt. Diese Größe ergibt sich aus der Beziehung der Stellgliedverstärkung, abhängig von dem Signal an der Klemme 17, der Verstärkung des Differentialverstärkers 18 und der Änderung des Widerstandes 15, abhängig vom Ausgangssignal des Stellgliedes 16.

Falls erwünscht, kann die Eingangsklemme 23 des Hochpaßfilters 21 statt mit dem Ausgang 4 auch mit dem Ausgang 10 der Summierschaltung 9 verbunden werden. Eine derartige Verbindung liefert bei einer plötzlichen Änderung des Sollwertes im Sollwertgeber 5 einen weniger abrupten Übergang. Eine Einstellung des Sollwertes von Hand liefert ein hochfrequentes Signal am Ausgang 10, das über das Hochpaßfilter 21 gelangt und plötzlich den Verstärkungsgrad des Verstärkers 12 reduziert und es ermöglicht, daß der Regelkreis etwas langsamer auf die Änderung des Sollwertes anspricht. Zur Erzeugung des Verstärkungsregelsignales benötigt man einen weiteren Ausdruck K, der die kleinste Verstärkungseinstellung darstellt, wenn sich der übrige Ausdruck null nähert. Hierzu ist ein Potentiometer 24 vorgesehen, das in Serie zu dem Rückkopplungswiderstand 15 geschaltet ist. Eine andere Möglichkeit zur Gewährleistung einer minimalen Verstärkung besteht darin, daß man in dem Stellglied 17 Begrenzer vorsieht, die verhindern, daß der Widerstand 15 unter einen Minimalwert herunter verändert werden kann.

In der Anordnung gemäß Fig. 2 wirken das Hochpaßfilter 21, der Integrator 22 und der Differentialverstärker 18 auf die

009815/0936

gleiche Weise, wie in der Anordnung gemäß Fig. 1. Die Aufgabe des Regelgliedes 16 und des veränderbaren Widerstandes 15 werden jedoch durch einen Analog-Digital-Wandler 25, ein Digitalstellglied 26 und ein Widerstandsnetzwerk 27 ausgeführt. In diesem Ausführungsbeispiel wird das 4 bis 20 mA Ausgangssignal des Differentialverstärkers 18 mittels eines Analog-Digital-Wandlers 25 in Digitalwerte umgewandelt. Die Signale am Ausgang 28 des Analog-Digital-Wandlers 25 können in irgendeinem Digitalcode dargestellt sein. Das Digitalstellglied 26 spricht auf die Signale am Ausgang 28 an, um Schalter 27a bis 27e, die in Reihe zu Widerständen 27g bis 27k des Widerstandsnetzwerkes 27 liegen, zu öffnen oder zu schließen. Der Rückkopplungswiderstand hat einen hohen Wert, wenn der Digitalwert am Ausgang groß ist und einen niedrigen, wenn der Digitalausgangswert klein ist. Ein Widerstand 27f kann ständig in den Rückkopplungskreis eingeschaltet sein, um dadurch einen minimalen Verstärkungswert zu gewährleisten.

Während in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 2 Analogschaltungen für die Analyse des Fehlersignales nach Größe und Frequenz vorgesehen sind, kann für die Analyse auch eine digitale Schaltung verwendet werden. In der Anordnung gemäß Fig. 3 gibt ein Analog-Digital-Wandler 29 am Ausgang 30 einen digitalen Wert ab, der dem analogen Fehlersignal entspricht. Die Größe des digitalen Wertes wird dann mittels eines Computers 31 bestimmt. Aus dieser und den vorher ermittelten Größe kann dann der Computer 31

009815/0936

den Ausdruck dx/dt errechnen. Der des Verstärkungsregelungssignales G gemäß der oben angeführten Gleichung kann ebenfalls durch digitale Berechnung ermittelt werden. Nach Beendigung dieser Berechnung werden entsprechende Signale zu dem digitalen Stellglied 26 zur Erzeugung des gewünschten Rückkoppelungswiderstandes gegeben.

Die Fig. 4 erläutert die Beziehung zwischen der Durchlaßkurve des Hochpaßfilters und der Verstärkung des Verstärkers 12. Wenn Signale ankommen, die keine Frequenzanteile haben, die oberhalb der unteren Grenzfrequenz des Hochpaßfilters liegen, wird der Verstärkungsfaktor durch das Signal am Eingang 19 bestimmt. Mit zunehmender Frequenz des dem Hochpaßfilter 21 zugeführten Signales nimmt die Amplitude des Ausgangssignales des Hochpaßfilters 21 zu und damit steigt auch der Ausgangswert des Integrators 22, wodurch die Verstärkung des Verstärkers 12 im gleichen Maße verringert wird.

In einigen Regelkreisen kann das Rauschen bei höheren Frequenzen so stören, daß es sich empfiehlt, den oberen Durchlaßbereich des Filters 21 zu begrenzen, so daß man eine Durchlaßkurve erhält, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist.

009815/0936 BAD ORIGINAL

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Regelkreis mit einem Verstärker, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor des Verstärkers derart geregelt wird, daß er bei niedrigen Frequenzen der Regelgröße groß ist und bei den hohen Frequenzen der Regelgröße gegen null geht.

2. Regelkreis nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor G des Verstärkers gemäß der Gleichung

$$G = K \left(1 + R \left| \frac{(x - x_0)}{\frac{dx}{dt}} \right| \right)$$

geregelt wird, in der

K die Einstellung der minimalen Verstärkung,

R die Rückstellrate (Wiederholungen pro Minute),

x die Regelgröße,

x_0 der Sollwert,

dx/dt die Änderung der Regelgröße und

$(x - x_0)$ die Fehlergröße ist.

3. Regelkreis nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regelung des Verstärkungsfaktors im Rückkopplungskreis des Verstärkers ein regelbarer Widerstand eingeschaltet ist, der durch ein Stellglied betätigt wird.

009815/0936

4. Regelkreis nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärkungsregelsignal vom Ausgang eines Differentialverstärkers dadurch gewonnen wird, daß die Regelgröße dem einen Eingang des Differentialverstärkers und die Fehlergröße oder wieder die Regelgröße über ein Hochpaßfilter und ein Integrationsglied dem anderen Eingang des Differentialverstärkers zugeführt wird.
5. Regelkreis nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärkungsregelsignal einem Analog-Digital-Wandler zugeführt wird, dessen digitale Ausgangssignale Schalter betätigen, über die je nach der Größe des digitalen Wertes mehr oder weniger Widerstände in den Rückkoppelungskreis des Verstärkers eingeschaltet werden.
6. Regelkreis nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärkungsregelsignal mittels eines Digitalcomputers errechnet wird, dem die Regelgröße und gegebenenfalls die Fehlergröße nach Durchlaufen eines Analog-Digital-Wandlers zugeführt wird/ werden.

009815/0936

• 15 •

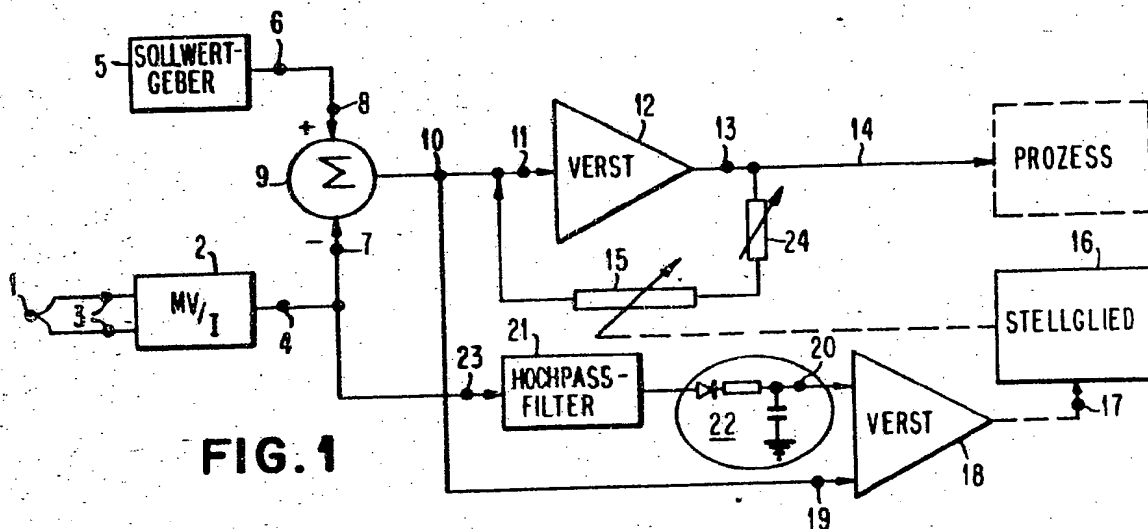


FIG. 1

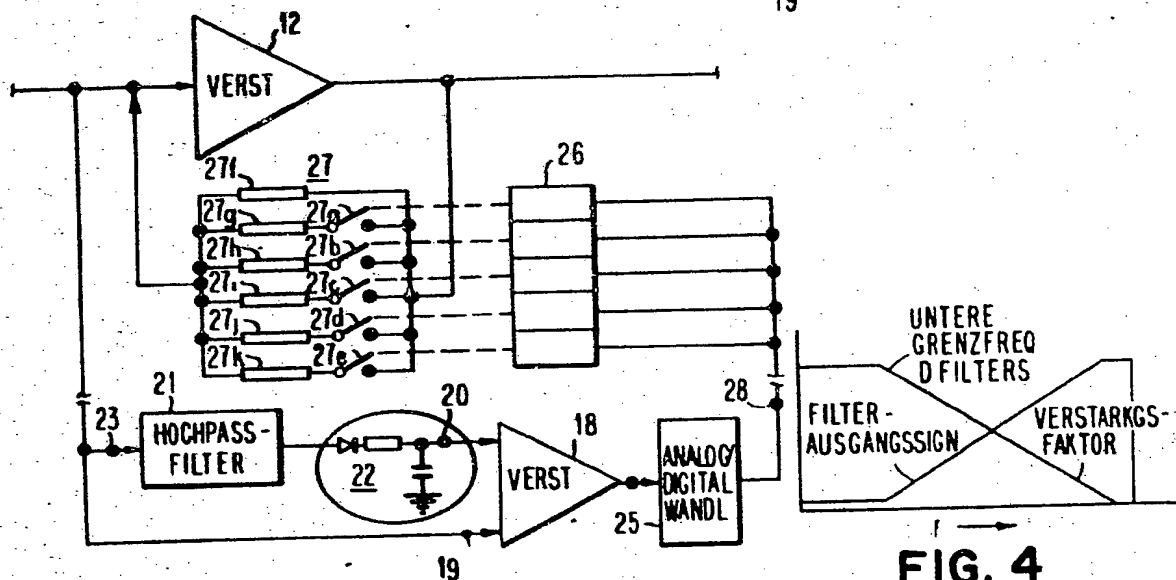


FIG. 2

FIG. 4

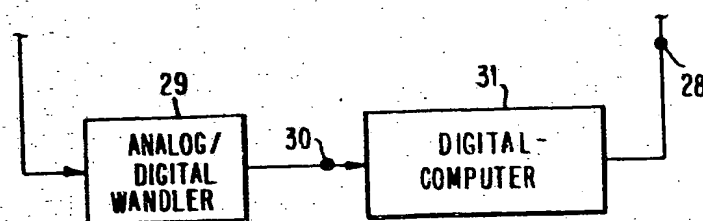


FIG. 3

009815/0936

ORIGINAL INSPECTED

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)